

# Écran tactile acoustique

Travail préparatoire

PHS3910 – Techniques expérimentales et instrumentation

Équipe L3

Émile Guertin-Picard  
2208363

Maxime Rouillon  
2213291

Marie-Lou Dessureault  
2211129

Philippine Beaubois  
2211153

**Résumé** – Dans l’optique de développer un piano tactile fonctionnel, des simulations ont été effectuées sur MatLab à l’aide du module k-Wave afin d’optimiser certains paramètres du prototype à conceptualiser. Il a été conclu qu’une plaque asymétrique en plexiglas, ayant un capteur placé proche d’un de ses côtés, serait idéale pour maximiser le contraste et minimiser la résolution lors de la détection de signaux tactiles.

## I. INTRODUCTION

Dans le cadre du cours PHS3910, l’équipe est mandatée de conceptualiser un piano tactile à l’aide du principe de retournement temporel. Avant de développer le produit final, il faut premièrement simuler le fonctionnement du piano à l’aide de l’outil k-Wave, afin de déterminer les caractéristiques qui optimiseront sa performance. En variant la forme, le matériau de la plaque ainsi que la position du capteur directement dans la simulation, une solution complète préliminaire peut être établie. Le choix de la solution finale est principalement basée sur les concepts de résolution et de contraste.

Les choix retenus suite aux tests de simulation sont les suivants : une plaque asymétrique avec trous, en plexiglas, avec un capteur situé proche d’un de ses côtés. Le rapport ci-présent détaillera la méthodologie utilisée afin d’obtenir une étude statistique de la résolution et du contraste en fonction des caractéristiques du piano, présentera les valeurs résultantes et leurs incertitudes respectives, et discutera des éléments pouvant être déduits de ceux-ci et implémentés dans la conception.

## II. MÉTHODES

Étant donné que le problème à considérer est de trouver les paramètres optimaux à l’aide d’une simulation, les méthodes de simulations sont décrites en fonction des étapes importantes du programme MatLab utilisant le module K-Wave. Les formes des plaques considérées ont été choisies pour avoir un éventail de géométries (carré, forme asymétrique, avec et sans trous). Du plexiglas et de l’aluminium ont été testés pour déterminer l’impact du milieu sur le contraste et la résolution. Les simulations se

limitent à ces matériaux car ce sont ceux à disposition pour la construction du piano.

Pour étudier l’impact du matériau, de la géométrie et de la position du capteur individuellement, deux paramètres ont été fixés avant de faire varier le troisième. L’interdépendance entre les paramètres a été considérée comme négligeable dans les modèles.

Le signal  $S_{ij}(t)$  obtenu à un récepteur à un point  $P_i$  a été modélisé comme la réponse impulsionnelle de la configuration (géométrie et matériau) à une impulsion d’une source à un endroit  $S_j$ . L’impulsion a été modélisée par un delta de Dirac  $\delta$  qui est l’identité du produit de convolution. On a donc

$$S_{ij}(t) = (h_{P_i S_j} * \delta)(t) = h_{P_i S_j}(t).$$

Le signal obtenu était de la forme d’une onde se propageant dans le matériau. Or, cette équation admettait également comme solution  $h_{P_j S_i}(-t)$ . Ce retournement temporel revenait à parcourir le temps de façon opposée, ce qui impliquait également d’invertir les rôles de récepteur et d’émetteur. Pour chaque source, le signal au récepteur  $S_{ij}$  est devenu :

$$S_{ij}(t) = h_{P_j S_i}(-t).$$

Une fois la réponse impulsionnelle obtenue pour tous les emplacements désirés sur la plaque, les décalages entre les signaux ont été retirés en gardant seulement une fenêtre de la réponse impulsionnelle. Les signaux inversés et recadrés ont été stockés pour pouvoir s’y référer lors du calcul de la corrélation  $C_{ij}$  entre les réponses impulsionnelles de la source et de l’émetteur. Cette corrélation a été donnée par :

$$C_{ij}(t) = h_{P_i S_j}(t) * h_{P_j S_i}(-t).$$

Une bande d’intérêt sur la plaque a été choisie pour réduire le temps de calcul. Pour chaque point de la bande, la corrélation entre son signal et celui des autres points a été calculée. Un graphique 2D de la corrélation en fonction de la position sur la bande a été fait. Pour effectuer une analyse statistique de la résolution et du contraste, il a fallu faire correspondre une courbe gaussienne sur chaque graphique

2D obtenu. La largeur à mi-hauteur de la gaussienne a pu déterminer la résolution alors que la différence entre le maximum de la courbe et le niveau du bruit a pu déterminer le contraste. Les valeurs finales et leur incertitude respective découlent des impulsions choisies pour l'analyse statistique ; la moyenne et l'écart-type pour chaque variable sont calculées.

### III. RÉSULTATS

Les géométries testées lors des simulations sont exemplifiées dans la figure 1. La ligne rouge sur chaque géométrie définit la bande d'intérêt des sources ; elle est positionnée sur l'axe où les touches du piano seraient placées pour un prototype.

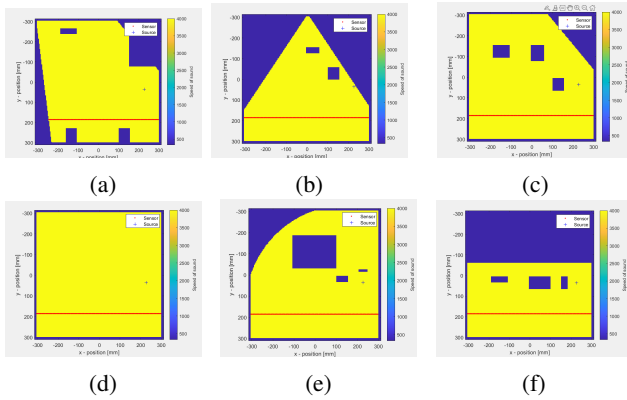


Figure 1 : Géométries considérées pour les simulations

Pour chaque géométrie, trois positions arbitraires pour le capteur ont été choisies, chacune étant associée à un ensemble de coordonnées. À titre de référence, la position (0,0) se situe au centre des grilles des figures 1a à 1f.

Matériau	Géo-métrie	Position du capteur	Contraste	Résolution
Valeurs de contraste les plus élevées				
Plexiglas	(a)	100, 100	$0.83 \pm 0.01$	$8 \pm 1$
Plexiglas	(c)	20, 100	$0.825 \pm 0.008$	$7.7 \pm 0.2$
Plexiglas	(a)	50, 100	$0.823 \pm 0.006$	$8.4 \pm 0.8$
Valeurs de contraste les plus faibles				
Aluminium	(b)	25, 100	$0.75 \pm 0.02$	$15 \pm 2$
Aluminium	(e)	110, 170	$0.76 \pm 0.01$	$6.6 \pm 0.5$
Aluminium	(f)	100, 30	$0.768 \pm 0.006$	$12 \pm 2$
Valeurs de résolution les plus élevées				
Aluminium	(e)	110, 100	$0.80 \pm 0.01$	$15 \pm 2$
Aluminium	(b)	25, 100	$0.75 \pm 0.02$	$15 \pm 2$
Aluminium	(a)	100, 100	$0.82 \pm 0.02$	$15 \pm 4$
Valeurs de résolution les plus faibles				
Plexiglas	(e)	30, 100	$0.803 \pm 0.006$	$8 \pm 1$
Plexiglas	(c)	20, 100	$0.825 \pm 0.008$	$7.7 \pm 0.2$
Plexiglas	(a)	50, 100	$0.823 \pm 0.006$	$8.4 \pm 0.8$

Tableau I – Résumé des résultats des simulations

En guise de résumé, les cas ayant les valeurs de contraste et de résolution les plus faibles et les plus élevées sont

présentés dans le tableau I. Les valeurs de contraste et de résolution correspondent chacune à la moyenne de l'ensemble de données, et leur incertitude correspond à l'écart-type.

### IV. DISCUSSION

Ayant obtenu un fit 2D gaussien, il est possible d'analyser et de comparer les variables pertinentes, le contraste et la résolution, selon différents paramètres physiques qui ont été élaborés dans la section ?? . Le graphique ?? offre un échantillon des résultats obtenus pour une plaque carrée, sans trous et en bois. En ayant utilisé le retournement temporel, la durée de simulation a pu être réduite, ce qui a permis d'obtenir des réponses temporelles pour un nombre d'échantillons considérablement plus grand. Cette décision a permis d'améliorer la définition des fits gaussiens. Six échantillons ont été choisis au hasard parmi les deux bandes considérées, offrant un poids statistique aux résultats assez important.

En observant le graphique ?? , on peut noter que l'emplacement de la source du signal correspond à une corrélation de 1. Ceci s'explique facilement par le fait que le signal choisi au hasard comme source et le signal de référence sont les mêmes (le choix de réutiliser le signal a été fait encore une fois pour réduire le temps de compilation). La courbe gaussienne a une correspondance quasi parfaite pour les données proches du maximum du pic, mais réduit en terme d'exactitude pour les données au niveau de la base de la gaussienne.

Les résultats obtenus avec cette simulation permettent d'avoir un aperçu quant-aux résultats possibles des simulations de d'autres paramètres. Le cas le plus favorable suite à un plus grand nombre de simulations serait d'avoir une résolution faible et un contraste important. En évaluant l'allure de la courbe pour le cas ci-présent, on peut estimer qu'il serait souhaitable de trouver des paramètres offrant un contraste plus grand que ceux évalués ici. La résolution, quant-à-elle, semble déjà suffisamment bonne. Évidemment, il est difficile d'arriver à une conclusion pertinente sans d'autres éléments de comparaison.